

# **Diseño de Mejoras Electrónicas para Vehículo de Fórmula SAE**

**Pedro Cobos Arribas**

Investigador de la Unidad de Sistemas Inteligentes en Vehículos, INSIA, UPM, España

**Felipe Jiménez Alonso, Francisco Javier Sánchez Alejo, Miguel Ángel Álvarez Borea**

INSIA. Universidad Politécnica de Madrid. España

## **RESUMEN**

Con el fin de mejorar la seguridad y los resultados del vehículo de Fórmula SAE del INSIA, se están implementando circuitos electrónicos que mejoren algunas prestaciones. Para ello se están realizando en la actualidad en la Escuela de Ingeniería Técnica de Telecomunicación diversos proyectos fin de carrera. Estos proyectos, que se ven reflejados en el presente artículo, cubren con un coste abordable las necesidades que van apareciendo en la evolución del vehículo de fórmula SAE.

## **1. INTRODUCCIÓN**

El proyecto de la Fórmula SAE exige creatividad e innovación y presenta una oportunidad única para los jóvenes ingenieros puesto que durante la preparación y participación en la competición pueden aplicar los conocimientos necesarios para el desarrollo del ciclo completo de un vehículo. La Fórmula SAE es una competición universitaria internacional de monoplazas tipo Fórmula diseñados por los alumnos de las diferentes universidades, organizada por la “Society of Automotive Engineers” (SAE). El objetivo de la competición es tanto la innovación tecnológica en el mundo de la automoción como que los estudiantes puedan participar en un trabajo real con resultados competitivos.

La competición comenzó en 1978 con el nombre de “Mini Indy”. Actualmente existen diversas competiciones que utilizan la normativa de la Fórmula SAE a lo largo de todo el mundo.

Las pruebas de las que consta la competición son de dos tipos, estáticas y dinámicas.

En las pruebas dinámicas cada equipo tiene que hacer una defensa frente a un jurado que evalúa: el diseño, coste y fabricación. Antes de poder competir en pruebas dinámicas, el coche tiene que pasar unas pruebas de “homologación”.

Las pruebas dinámicas son:

- Aceleración: Se mide el tiempo que se tarda en recorrer una recta de 75 metros.
- Skidpad: Prueba en la que se mide la aceleración máxima lateral del vehículo sin salirse de una trayectoria con forma de ocho.
- Sprint: Vuelta cronometrada a un circuito.
- Endurance: Carrera con todos los monoplazas en pista.

En la competición se puede competir con dos pilotos por prueba

En 1981 se celebró la primera competición de Fórmula SAE. Seis escuelas anunciaron que se presentarían, pero solo cuatro lo hicieron: la Universidad de Texas, la Universidad de Tulsa (OK), la Universidad de Cincinnati y el Instituto Stevens (NJ) que acabó ganando la competición. Este vehículo aparece en la Figura 1.



**Fig. 1 – Primer ganador fórmula SAE**

En la Figura 2 se pueden ver vehículos más actuales, presentados por el INSIA, en varias convocatorias.



A



B

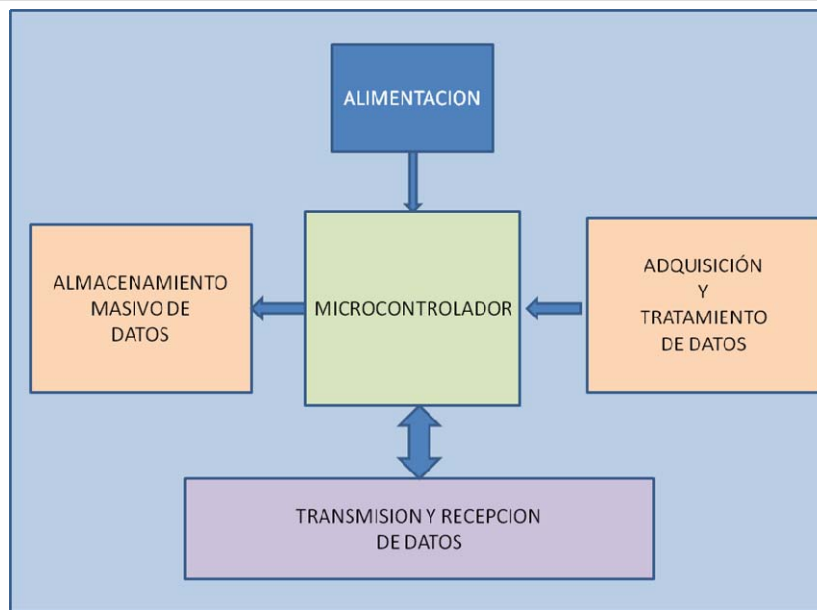
**Fig 2 – Vehículos fórmula SAE del INSIA. Versión 2001 (A), Versión 2009 (B)**

Como en toda competición de monoplazas, el desarrollo de aplicaciones electrónicas dirigidas a una mejora en el rendimiento del coche puede ser decisivo a la hora de la competición y la otorga de un nivel de ventaja respecto de los otros equipos de trabajo.

Es necesario señalar el gran esfuerzo de investigación existente en este campo, desde estudios exhaustivos sobre control de tracción, como el realizado en Hiroshi (2007), Susumu (1990), Colm (2004) y Badih (2000), a trabajos sobre motores y centralitas, como las elaboradas por Baronti (2009) y Farrugia (2005) y trabajos sobre sistemas de adquisición de datos, como por ejemplo el realizado por Daniel (2004), lo que anima fuertemente a seguir en esta línea de investigación.

## **2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA**

Todos los proyectos realizados tienen una estructura muy similar, que puede resumir la Figura 3. En todas las implementaciones se pueden encontrar los bloques aquí expuestos, aunque con algunas variantes según el caso.



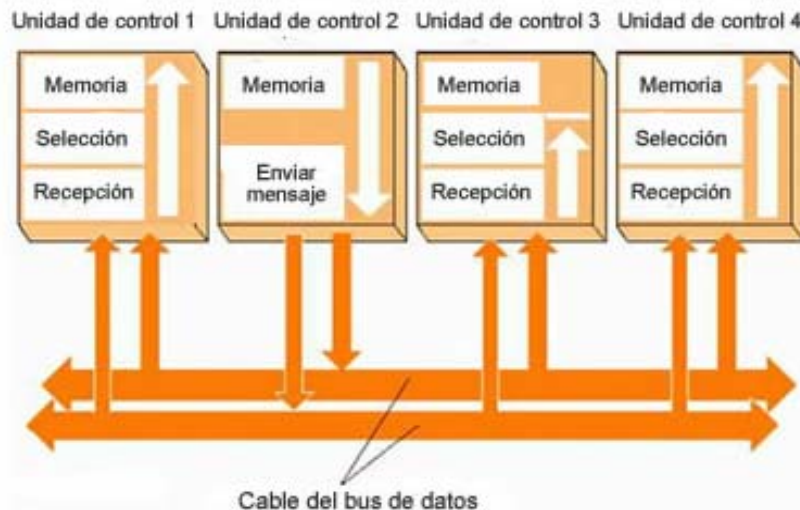
**Fig 3 – Diagrama de bloques de las soluciones electrónicas para fórmula SAE**

El bloque de Alimentación transforma la tensión de 12 v de la batería del vehículo a las tensiones requeridas para el microcontrolador y elementos auxiliares del sistema, típicamente 3,3 v y en algunos casos 5 v. Dependiendo de las corrientes requeridas y de la disipación de potencia, se escogen reguladores no lineales para bajar el nivel de tensión de 12 a 9 v y luego uno o varios reguladores lineales para bajar de 9 a 5 y de 5 a 3,3 v. De este modo la potencia disipada en la transformación es muy baja y la regulación muy buena.

El bloque de Adquisición y Tratamiento de datos resume la etapa de entrada de señales al sistema. Estas señales pueden ser analógicas o digitales y con un número de canales variable, desde unos simples pulsadores en algún caso a todos los sensores necesarios para monitorizar el estado de los componentes del vehículo.

El bloque de Transmisión y Recepción de datos resume la generación de salidas de los sistemas y la recepción no de entradas, como hacía el bloque anterior, sino de órdenes o comandos de funcionamiento, para cambiar el modo de operación de los diferentes bloques. Estos comandos pueden proceder de un ordenador remoto, que monitoriza y controla el funcionamiento del vehículo, o de un componente interno del vehículo, que solicita un dato u ordena un cambio en el funcionamiento de alguna unidad. El modo de transmisión y recepción varía desde un simple interfaz serie en algún caso, a la transmisión vía radio de otros. Hay que señalar en este punto que se ha establecido como modo de comunicación entre bloques el bus CAN, por su inmunidad al ruido y su fuerte implantación en el campo de automoción. De este modo, casi todos los subsistemas disponen de los elementos hardware necesarios para poder soportar este modo de comunicación. En la Figura 4 se resume este popular modo de transmisión. Las distintas unidades se conectan como estaciones con igualdad de derechos, mediante una estructura de bus lineal. Esta estructura presenta la ventaja de que en caso de fallar una estación, el sistema bus continúa estando plenamente a disposición de las demás estaciones. En comparación con otras disposiciones lógicas (estructuras anulares o estructuras en estrella) se reduce así esencialmente la probabilidad de un fallo total. En el caso de estructuras anulares o en estrella, el fallo de una estación o de la unidad central, conduciría a

un fallo total.



**Fig 4 – Estructura simplificada del bus CAN**

El bloque de Almacenamiento Masivo de datos se usa en algunos sistemas, como el que adquiere la información de todos los parámetros del vehículo, para almacenar variables, tales como el estado de las variables del motor y del funcionamiento, como velocidad, bloqueo de las ruedas, etc. Este almacenamiento se hace en una memoria SD, que puede ser extraída para su procesamiento en un host, o para almacenarlo en algún sistema de procesamiento.

Por último, el bloque nombrado como Microcontrolador contiene la unidad de proceso que gestiona el funcionamiento de todos los bloques anteriores. Se han usado tres tipos de microcontroladores, según la aplicación y en algún caso para comparar las prestaciones de distintas soluciones proporcionadas por los fabricantes. Concretamente, la mayoría de las aplicaciones usan un PIC24fj128, microcontrolador de 16 bits de Microchip, con numerosos periféricos, tales como temporizadores, convertidores A/D, puerto paralelo de 8 bits, etc. En una aplicación se usa la solución de 16 bits de otro fabricante, el C8051F042 de Silabs, que incorpora un pequeño sistema operativo multitarea en tiempo real, el RTX51, diseñado especialmente para su utilización en sistemas embebidos con microcontroladores de la familia del 8051. Por último, varios sistemas usan el dsPIC33FJ256GP710, también de 16 bits, de Microchip, que incorpora más potencia de cálculo y además mayor facilidad para manejar las comunicaciones CAN.

### **3. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA**

Se han realizado ocho diferentes sistemas, con la estructura expuesta en el apartado anterior, que realizan diversas funciones dentro del vehículo. Sus características principales se presentan a continuación.

#### **3.1 Cambio mapas de inyección.**

Fue el primer sistema que se realizó y emplea un microcontrolador sencillo de 8 bits (16f877 de Microchip), puesto que sólo debe contener una memoria flash de tamaño suficiente para

almacenar la información relativa a varios mapas de inyección del vehículo. Esta información, que es elaborada mediante un software del sistema de control de la centralita del vehículo, se le transmite en la programación o posteriormente, si hay alguna modificación, vía serie. Dispone de unos pulsadores, o un conmutador giratorio, para que el piloto elija de forma sencilla la configuración del motor que mejor conviene a cada prueba. En la actualidad se está realizando una mejora de la placa de circuito impreso.

### **3.2 Control tracción y salida.**

Este sistema, junto con el siguiente, controlan muy de cerca los sensores de efecto hall asociados a las ruedas del vehículo. Aquí se mide que no se produzca deslizamiento al aplicar la máxima potencia del motor en el arranque inicial, realimentando al sistema de inyección para lograr el comportamiento más eficiente posible. Aunque el piloto esté pisando el acelerador al máximo, según las condiciones del asfalto y de los neumáticos, la transferencia de la potencia se hará gradualmente para que no se produzca el efecto negativo mencionado. El microcontrolador empleado en este sistema es el DSPic33, dado que en este caso la potencia de cálculo requerida para implementar el algoritmo de control es mayor y además se usa el bus CAN para leer la información de los sensores e indicar la consigna a la centralita.

### **3.3 ABS.**

Este sistema también emplea el DSPic33, en este caso para transmitir de forma correcta la presión del pedal del freno a las electroválvulas que controlan el circuito de freno, de modo que las pinzas de frenado no se queden bloqueadas en ninguna circunstancia, permitiendo así una frenada más efectiva. Este sistema, de serie en todos los automóviles comerciales, no se incluía hasta el momento en el vehículo de fórmula SAE, con el peligro consiguiente. De nuevo es necesario aplicar potencia de cálculo para realizar un algoritmo de control eficiente y se emplea el bus CAN para transferir órdenes a los distintos componentes. Este sistema, junto con el anterior, en la actualidad están siendo elaborados.

### **3.4 Sistema de adquisición de datos.**

El objetivo de este sistema es la lectura de todas las variables de entrada del vehículo, para que el resto de sistemas del vehículo no tenga que hacerlo de modo redundante. Dado que muchos componentes deben conocer la temperatura del agua, por ejemplo, sería ineficiente que cada uno de los sistemas gastara recursos para hacerlos. De este modo, aquí se dispone de toda la información y el resto de componentes la piden a través del bus CAN, cuando sea necesario. Este sistema permite también el volcado de la información en una memoria, para usos estadísticos o de cualquier tipo.

En esta ocasión, el microcontrolador empleado el PIC24, de Microchip, del que se usan los periféricos:

- Convertidores ADC
- Dos canales SPI
- La captura de entrada.

Para almacenar los datos conseguidos gracias a los sensores externos se usa una memoria SD manejada por el microcontrolador a través de uno de sus buses serie SPI.

Para la transmisión y recepción de datos usa el bus CAN. Poderle usar es muy adecuado, dada su fiabilidad en las aplicaciones de automoción, pero en este caso exige incorporar elementos adicionales al sistema para poder usarse. Concretamente, hay que incluir en el sistema dos circuitos integrados, para poder implementar físicamente el protocolo:

- MCP2550 de Microchip, un transceiver para intercomunicar el controlador CAN con la red CAN.
- MCP2515 de Microchip, un controlador manejado por el microcontrolador a través del un bus serie SPI.

La adquisición de datos se hace a través una serie de conectores a los que se unen los sensores ubicados en automóvil, las señales recogidas por estos conectores, dependiendo de su naturaleza, son tratadas con una serie de amplificadores especiales para termopares, los amplificadores usados son AD595 de Analog Devices. En la actualidad este sistema se ha construido físicamente y está siendo probado en el vehículo

### **3.5 Sistema de transmisión de datos, vía radio.**

Este sistema puede funcionar como transmisor o como receptor vía radio. En el primer caso manda la información a un sistema remoto que visualiza el estado del vehículo, y el en segundo recibe ordenes de este sistema remoto, para cambiar cualquier parámetro de la configuración de los bloques funcionales del vehículo. En este caso se usa el DSPic33, con sus recursos: módulo ECAN para la recepción y envío de tramas al bus CAN (como ya se ha comentado anteriormente, es necesario el uso del transceiver MCP2551 para la conexión al bus), UART1 para la recepción y envío de datos a través de la antena, el DMA para el almacenamiento de los mensajes y los pines necesarios para la programación del micro y la depuración del código.

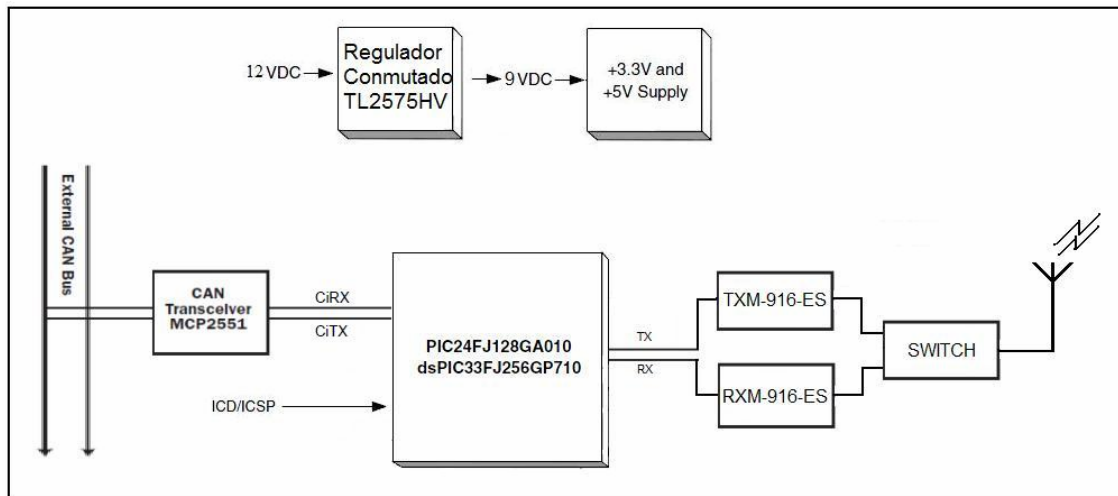
El diagrama de bloques de esta aplicación se presenta en la siguiente figura (Figura 5); para la transmisión y recepción de datos a través de la antena se utilizan dos módulos de Linx Technologies de la serie ES, especialmente indicados para comunicaciones inalámbricas (TXM-916-ES y RXM-916-ES). El software de esta aplicación se compone de dos aplicaciones, una que se ejecuta en el transmisor y otra que se ejecuta en el receptor. El software del transmisor es básicamente un autómata de 4 estados que son:

“Recepcion\_CAN”, estado inicial de la aplicación. Se espera a la recepción de una trama del bus CAN, se recogen los datos que lleva la trama y se pasa al estado “Envío\_antena”, donde se realiza el envío de los datos a través de la antena y se pasa al estado “Recepción\_antena”, donde se espera a que el transmisor conteste una vez que recibe los datos que se han enviado. Hay tres posibles contestaciones por parte del receptor. Contestará ACK si la trama se recibió correctamente, NACK en caso de que se haya producido algún error en la recepción de la trama, o bien contestará con una trama de datos para transmitirla al bus CAN, y en tal caso se va al estado “Envío\_CAN”, en el que se envían los datos al bus CAN.

El software del receptor básicamente recibirá la trama que se envía por la antena, comprobará



si ha habido algún error (mediante un checksum) y contestará al transmisor, diciéndole si la transmisión ha ido bien o no, o enviándole una trama de datos para que éste la transmita al bus CAN.



**Fig 5 – Diagrama de bloques del sistema de transmisión-recepción vía radio**

En la actualidad, se han realizado las dos placas de este sistema y se están probando en el vehículo.

### 3.6 Data Logger sobre pantalla táctil.

Este sistema usa un Pic24, dado que necesita su PMP para manejar la pantalla táctil de 3,5 pulgadas, montada sobre el volante del vehículo. A través de esta pantalla se visualizan en una serie de menús de fácil lectura, todos los parámetros de velocidad, temperatura del agua y aceite, revoluciones por minuto, etc. También se permite sustituir la botonera mecánica para el cambio de mapas de inyección por una serie de botones sobre la pantalla. La única limitación es el tamaño de la pantalla, pero con un diseño cuidadoso, se obtienen muy buenos resultados, que en la actualidad están siendo probados en el vehículo.

### 3.7 Control de la potencia del motor, mediante dos servos.

Este sistema controla dos servomotores, en función de las revoluciones por minuto del motor, para variar la posición de la mariposa (controla la gasolina que entra) y la longitud del tubo de admisión (mayor o menor volumen de aire en la mezcla), con lo que se obtiene un control preciso de la potencia del motor. El microcontrolador lee a través del bus CAN la información de las RPM's del motor y realiza un control de posición y velocidad sobre los motores paso a paso seleccionados.

Este sistema se ha realizado físicamente y se están realizando pruebas en el vehículo.

### 3.8 Control de la temperatura del motor.

Realiza un control de la temperatura del motor, tomando como entradas las señales de temperatura del agua y del aceite del motor, procedentes del bus CAN. En función de las mismas y de su evolución, actúa sobre un motor paso a paso que regula el flujo de refrigerante al motor, para conseguir una refrigeración lo más eficiente y rápida posible. Este sistema se

está realizando actualmente.

#### 4. CONCLUSIONES

Se ha desarrollado una serie de aplicaciones hardware, capaz de funcionar con muchas configuraciones sobre vehículos de fórmula SAE. Proporcionan soluciones de bajo coste e incorporan en algún caso una pantalla táctil para la introducción de órdenes y la visualización de resultados. Los sistemas se intercomunican mediante el bus CAN, con lo que la eficiencia del sistema aumenta, al no tener que usar por ejemplo varios sensores o conversores para medir la misma variable en varios sistemas. Todos los sistemas han sido simulados con herramientas CAD, contruidos físicamente y probados. Debería considerarse que en un futuro cercano se continuará esta línea de trabajo, integrando en el vehículo diferentes soluciones adicionales (transmisión zig-bee, alternativas al bus CAN), con la misma estructura general de la aplicación: varios sistemas, con microcontroladores de bajo coste, que hagan un proceso cooperativo de los datos y puedan sustituirse cuando se desarrolle un nuevo bloque con prestaciones más avanzadas.

#### REFERENCIAS

- BADIH A (2000). Traction Control Applications in Engine Control *International Truck & Bus Meeting & Exposition, December 2000, Portland, OR, USA, Session: Torque Transfer Device. World Congress, Detroit.*
- BARONTI, F. (2009). Control System of a Formula SAE Gearbox Using Electric Voice Coil Actuators. *Submitted to the next SAE ICE 2009 Conference, Capri Naples (ITA)*
- COLM, M. (2004). Investigation of Four-Wheel Steering Algorithms for a Formula SAE Car. *SAE 2004 World Congress & Exhibition, Detroit, MI, USA, Session: Vehicle Dynamics & Simulation - Suspension and Steering (Part 4 of 4)*
- DANIEL S (2004). Low-Cost Data Acquisition for Racing Applications. *Engineering Conference & Exposition, Dearborn, MI, USA, Session: Data Acquisition, Computer Engine Simulation and Other Electronic and Computer-Based "Tools" for Motorsports (Part 1)*
- FARRUGIA, M. (2005) ECU Development for a Formula SAE Engine. *SAE 2005 World Congress & Exhibition, Detroit, MI, USA, Session: Electronic Engine Controls (Part 3 of 8)*
- HIROSHI, E (2007). Development of the Traction Control System With the Custom Electrical Control Unit for the Formula SAE Car. *Society of Automotive Engineers of Japan, Inc. and Copyright © 2007 SAE International*
- SUSUMU, M (1990) Development of ABS and Traction Control Computer. *Passenger Car Conference & Exposition, Dearborn, MI, USA, Session: Passenger Car Conference & Exposition.*